

Краевые задачи, рассматриваемые в настоящем докладе, являются основой для решения проблемы исследования спектра комплексных волн тропосферных волноводов. Различные виды комплексных волн составляют значительную часть спектров всех направляющих структур, описываемых несамосопряженными краевыми задачами, и оказывают существенное влияние на работу этих структур. Рассматриваемый в докладе двухслойный сферический волновод является математической моделью тропосферного волновода, на основе которой производится исследование особенностей волн, распространяющихся вдоль земной поверхности. Показывается, что в таком волноводе могут распространяться несобственные комплексные волны, относящиеся к классу вытекающих.

## КРУГЛЫЙ ФЕРРИТОВЫЙ ВОЛНОВОД С АНИЗОТРОПНО ПРОВОДЯЩЕЙ РЕЗИСТИВНОЙ ПЛЕНКОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ

*С.В. Иванов, А.В. Назаров, Е.А. Попов*

(Нижний Новгород, Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева, physics@nntu.nnov.ru)

## A CIRCULAR FERRITE WAVEGUIDE WITH THE ANISOTROPICALLY CONDUCTING RESISTIVE FILM ON THE SURFACE

*S.V. Ivanov, A.V. Nazarov, E.A. Popov*

Круглый ферритовый волновод (КФВ) с анизотропно проводящей резистивной пленкой на поверхности представляет собой цилиндрический продольно намагниченный ферритовый стержень радиуса  $a$  с нанесенной на его поверхность тонкой резистивной спиралью. Угол напыления спирали -  $\psi$ . Волновод находится в поперечно неограниченной изотропной диэлектрической среде.

Для решения задачи о распространении электромагнитных волн вдоль исследуемой направляющей структуры используется модель спирально проводящего цилиндра. Данная модель позволяет при достаточно малом шаге спирали  $d \ll \lambda$ , где  $\lambda$  – длина волны, заменить спирально проводящую поверхность на сплошной цилиндр с анизотропной проводимостью. По такому цилиндру ток протекает вдоль витков спирали и не может протекать в направлении, перпендикулярном их плоскости.

Электродинамический анализ структуры осуществляется на основе метода частичных областей. Поля в ферритовой области записываются с использованием метода укороченных дифференциальных уравнений [1].

При толщине резистивной пленки  $\Delta \ll \delta$ , где  $\delta$  – толщина скин-слоя ее материала, для составления дисперсионного уравнения волн рассматриваемого волновода можно использовать метод поверхностного тока [2]. В этом случае граничные условия при  $r = a$  будут иметь вид:

$$\begin{aligned}E_{z1} &= E_{z2}, \\E_{\varphi1} &= E_{\varphi2}, \\H_{z1} \sin \psi + H_{\varphi1} \cos \psi &= H_{z2} \sin \psi + H_{\varphi2} \cos \psi, \\(H_{z1} - H_{z2}) \cos \psi - (H_{\varphi1} - H_{\varphi2}) \sin \psi &= \Delta \sigma E_{z1} \sin \psi + \Delta \sigma E_{\varphi1} \cos \psi,\end{aligned}$$

где  $\Delta \sigma$  – поверхностная проводимость пленки. В результате реализации граничных условий получается система четырех линейных однородных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно неизвестных амплитудных коэффициентов в представлениях полей. Условие нетривиальности решений СЛАУ (равенство нулю ее главного определителя) дает дисперсионное уравнение волн КФВ с анизотропно проводящей резистивной пленкой на поверхности.

В докладе приводятся результаты расчета дисперсии для нескольких азимутально-симметричных и азимутально-несимметричных волн при отсутствии и наличии магнитных потерь в феррите. Рассматривается влияние параметров резистивной пленки на дисперсионные свойства волн. Исследуется изменение поляризации линейно поляризованной волны при ее распространении в КФВ с анизотропно проводящей резистивной пленкой на поверхности.

### Литература

1. Сул Г., Уокер Л. Вопросы волноводного распространения электромагнитных волн в гиротропных средах. М.: Иностранная литература, 1955. 189 с.
2. Веселов Г.И., Раевский С.Б. Слоистые металлодиэлектрические волноводы. М.: Радио и связь, 1988. 248 с.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ СВЧ УСТРОЙСТВ

*В.А. Козлов, А.Л. Кунилов, Ю.А. Светлаков, А.Ю. Седаков*

(Нижний Новгород, ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» [niiis@niiis.nnov.ru](mailto:niiis@niiis.nnov.ru))

## MANUFACTURING TECHNIQUE COAXIAL CERAMIC RESONATORS FOR MICROWAVE DEVICES

*V.A. Kozlov, A.L. Kunilov, Yu.A. Svetlakov, A.Yu. Sedakov*

В современной технике СВЧ широкое применение находит микроволновая диэлектрическая керамика, используемая в качестве основы резонансных элементов фильтров и полупроводниковых генераторов, а также диэлектриков в СВЧ конденсаторах. Одно из применений микроволновой керамики – использование в качестве материала коаксиальных керамических резонаторов (ККР).

В России основным разработчиком и изготовителем керамических материалов для ККР является ООО «Керамика» (г. Санкт-Петербург) [1, 2]. Там же организован серийный выпуск резонаторов. Однако выпускаемый ООО «Керамика» ассортимент ККР [1] не покрывает полностью потребностей разработчиков СВЧ узлов и приборов, особенно при проведении НИР и ОКР. В ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» для изготовления ККР, отвечающих техническим требованиям разработчиков СВЧ устройств, разработаны специальные технологии изготовления ККР с использованием имеющихся в распоряжении разработчиков типовых технологических средств, позволяющие обеспечивать необходимой номенклатурой резонаторов ограниченного количества деталей одного типоразмера. В соответствии с применяемой на предприятии структурой технологического обеспечения при системном проектировании СВЧ устройств [3], было определено, что при проведении НИОКР для сокращения сроков изготовления макетов рационально изготавливать резонаторы методами «экспресс-технологии», суть которой заключается в механической обработке заготовок в виде керамических брусков (из сортамента, предлагаемого на рынке продукции или заготовок, полученных прессованием с применением имеющихся в производстве пресс-форм). Такой подход позволяет исключить проектирование и изготовление достаточно дорогостоящих специальных пресс-форм для прессования заготовок и значительно сокращает затраты и сроки на проектирование СВЧ узлов, в состав которых входят резонаторы.

Предложенная технология внедрена в ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю.Е. Седакова» в условиях опытного производства.

Конструктивно ККР представляет собой прямоугольный параллелепипед со сквозным отверстием по продольной оси. Все поверхности резонатора, кроме одного торца, покрыты серебром. Типовые размеры поперечного сечения резонаторов –  $6 \times 6 \text{ мм}^2$  и  $3 \times 3,5 \text{ мм}^2$ . Высота (длина) соответствует четверти длины волны в резонаторе. Диаметр отверстия – 1 мм и более.